

В этом выпуске:

## СНОВА К ОСНОВАМ

### *Муары и сверхразрешение: теперь и в нейтронографии*

Эффект муара – возникновение длиннопериодической картины при наложении двух периодических структур – давно и широко применяют в самых различных измерительных приборах для повышения точности, контроля качества поверхности и т.д. В современной физике конденсированного состояния тоже обнаруживают различные проявления эффекта муара, как например, возникновение муаров в двуслойном графене (см. заметку в Перст [1]). Поэтому не приходится удивляться, что эффекту муара нашли применение и в нейтронографии для повышения разрешения нейтронных исследований.

Группа ученых из Канады и США в недавно опубликованной статье [2] представила разработку нейтронного интерферометра, использующего эффект муара для повышения разрешения.

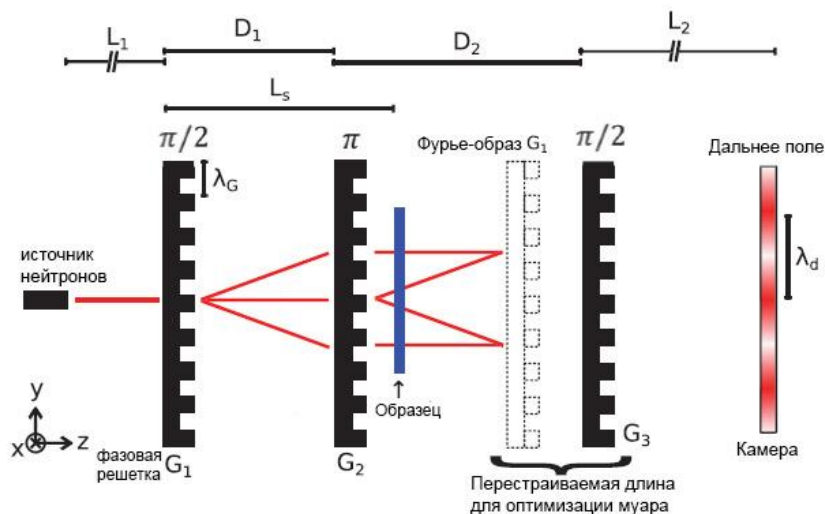


Схема нейтронного интерферометра.

Система содержит три фазовых решетки. Первая решетка дает стандартные дифракционные максимумы под определенными углами. Вторая решетка  $G_2$  создает фурье-образ первой решетки  $G_1$  на определенном расстоянии. Третья решетка  $G_3$  аналогична первой, но сдвинута на некоторое расстояние от той плоскости, где находится фурье-образ решетки  $G_1$ . В отсутствие исследуемого образца на экране образуется картина муара из полос с периодом, обратно пропорциональным  $D_2 - D_1$ . Период муара можно сделать достаточно большим, и анализировать эту картину без применения дополнительной оптики. Кроме того,

И далее ...

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

- 2 Гибкий резистивный нагреватель из Ag нанопроволоки в “перламутре”

## МУЛЬТИФЕРРОИКИ

- 3 Электрическое переключение 2D ван-дер-ваальсовых магнитов

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 4 Кремниевые бакиболы против призматов
- 5 Устойчивость одномерных фуллереновых полимеров

## КОНФЕРЕНЦИИ

- 6 Научный семинар “Топологически нетривиальные материалы: двумерные и трёхмерные топологические изоляторы”, 4 апреля 2018 г., АО “НИИМЭ” (г. Москва, Зеленоград, 1-й Западный проезд, д. 12, строение 1, 4-й этаж, зал НТС, 11:00)
- 7 II-я Всероссийская научно-практическая конференция “Научное приборостроение – современное состояние и перспективы развития”, 4-7 июня 2018 г., г. Казань, Россия

существует определенное расстояние  $D_2-D_1$ , обеспечивающее оптимальный контраст интерференционной картины. Присутствие образца нарушает эту картину, и по ее искажению можно судить о характеристиках исследуемого образца.

Авторы утверждают, что интерферометр, использующий эффект муаров, менее требователен к точности установки деталей и монохроматичности источников, чем дающие аналогичное разрешение интерферометры Маха-Цандера. Успехи в реализации подобных систем говорят о том, что изобретатели еще не раз обратятся к красивой и универсальной идее муаров.

З. Пятакова

1. [ПерсТ 18, вып. 13/14, с. 2 \(2011\).](#)
2. D.Sarenac et al., *Phys. Rev. Lett.* **120**, 113201 (2018).

## НАНОМАТЕРИАЛЫ

### *Гибкий резистивный нагреватель из Ag нанопроволоки в “перламутре”*

Исследователи из Nanyang Technological Univ. (Сингапур) сообщили о создании нового материала, который можно использовать как гибкий резистивный нагреватель в носимых устройствах [1]. Прототипом послужил лёгкий, но очень прочный перламутр. Этот природный биокompозит состоит из “кирпичиков” – пластинок арагонита, образующих параллельные слои. Промежутки между “кирпичиками” за-

полнены наноструктурным “строительным раствором” из хитина и белков. Изучение иерархической структуры перламутра уже позволило ученым, в том числе и авторам [1], разработать ударопрочные керамику и стекла, композитные полимерные пленки и покрытия разного назначения (см. также ПерсТ [2]). Однако гибкие прозрачные пленки для резистивного нагрева сделать до сих пор не удавалось. Плёночные ИТО (Indium-Tin Oxide) структуры на основе оксидов индия и олова имеют хорошие оптические и электрические свойства, однако они дорогие и хрупкие. Альтернативным материалом является сетка из Ag нанопроволоки (Ag-NW) на термопластике, но такие нагреватели имеют грубую поверхность и недостаточную механическую прочность из-за слабой адгезии нанопроволоки к пластику. Сингапурские исследователи предложили новую прозрачную гибкую нанокомпозитную основу (NC), имитирующую перламутр. Перемешивание дисперсии лапонита\* с поливиниловым спиртом и последующее удаление воды позволило путем самосборки получить упорядоченные слоистые пленки из нанопластинок лапонита, покрытых полимером. Для синтеза пленки (сетки) из Ag нанопроволоки авторы [1] использовали вакуумную фильтрацию дисперсии Ag-NW в этаноле. Затем методом горячего прессования из Ag-NW и основы NC получили композит Ag-NW/NC (рис. 1,2).

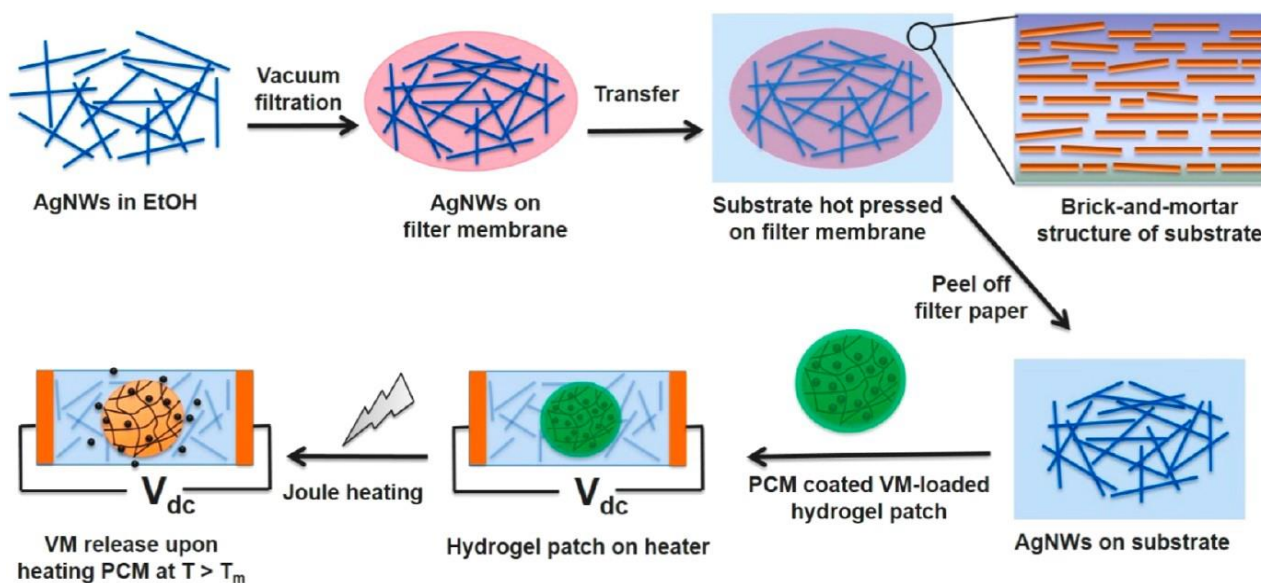


Рис. 1. Схема получения резистивного нагревателя из Ag нанопроволоки, внедренной в “перламутровую” основу со структурой brick-and-mortar (“кирпич-раствор”). Также показано возможное применение для выделения при помощи нагрева антибиотика VM из гидрогеля, покрытого PCM (phase change material).

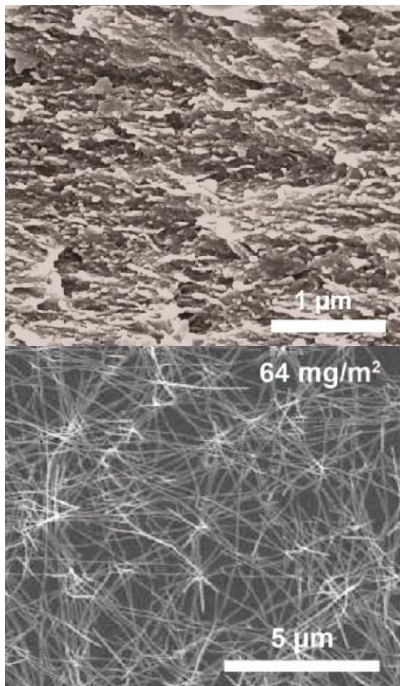


Рис. 2. SEM изображения поперечного сечения (излома) слоистой NC основы (вверху) и композитной пленки Ag-NW/NC при плотности Ag-NW, равной 64 мг/м<sup>2</sup> (внизу).

Новый пленочный материал имеет очень хорошие оптические и электрические характеристики, сравнимые с характеристиками ИТО: поверхностное сопротивление от 10 до 80 Ом/квadrat и коэффициент пропускания для 550 нм от 70 до 91% (при уменьшении плотности AgNW от 111 до 23 мг/м<sup>2</sup>). Сопротивление практически не меняется при многократном (до 2000 циклов!) сгибании или скручивании в трубочку (рис. 3).

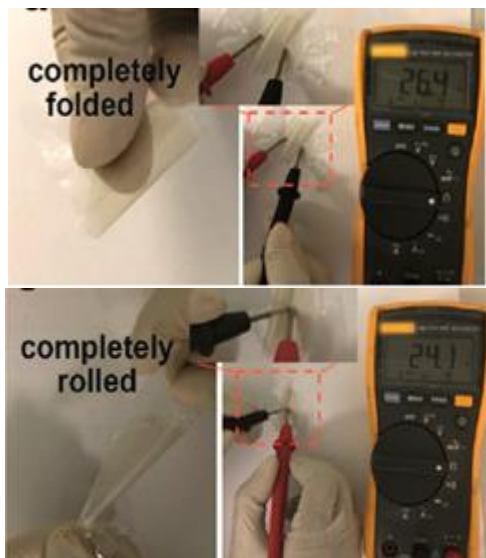


Рис. 3. Фотографии Ag-NW/NC (64 мг/м<sup>2</sup>), демонстрирующие стабильность работы при складывании и скручивании.

Нагреватель дает быстрый (10 сек) и длительный тепловой отклик при низком входном *ПерсТ*, 2018, том 25, выпуск 5/6

напряжении. Благодаря отличным оптическим, электрическим и механическим свойствам он может быть использован для выделения различных молекул, например, лекарств, при контролируемом нагреве, а также, конечно, найдет применение в гибких носимых устройствах.

*О. Алексеева*

*\*Лапонит – синтетический силикат слоистой структуры. В последние годы используется для получения композитов с наночастицами металлов, которые удерживаются в межслоевом пространстве или на поверхности слоев.*

1. P.Das et al., *ACS Appl. Nano Mater.* **1**, 940 (2018).
2. [ПерсТ 20, вып. 18, с.3 \(2013\).](#)

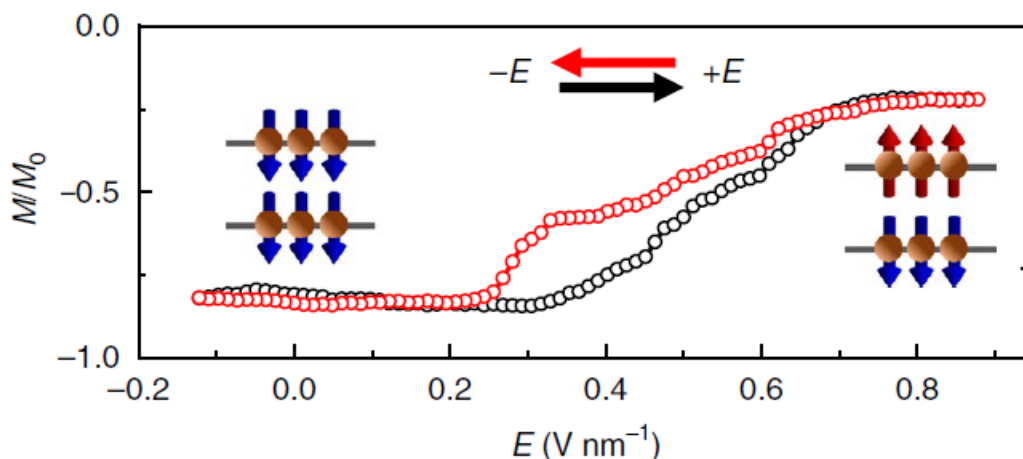
## МУЛЬТИФЕРРОИКИ

### *Электрическое переключение 2D ван-дер-ваальсовых магнитов*

Ван-дер-ваальсовы гетероструктуры – материалы, собираемые из двумерных слоев различных кристаллов подобно деталям детского конструктора. Как следует из названия, сцепление между слоями обеспечивается относительно слабыми (по сравнению с ковалентной связью) кулоновскими силами межатомного взаимодействия. В последние несколько лет стали появляться сообщения о ван-дер-ваальсовых магнитных материалах, позволяющих изучать двумерный магнетизм и создавать материалы с заданными магнитными свойствами методами инженерии гетероструктур. Например, магнитный полупроводник CrI<sub>3</sub> является ферромагнитным при нечетном числе атомных слоев и антиферромагнетиком – при четном [1].

В недавней работе [2] исследователи из Cornell Univ. и Pennsylvania State Univ. (США) создали на основе CrI<sub>3</sub> и других двумерных материалов гетероструктуру, напоминающую полевой транзистор: роль затворного контакта играли листы графена, а подзатворного диэлектрика – нитрид бора. В результате ими были продемонстрированы новые магнитоэлектрические свойства ван-дер-ваальсовской структуры: под действием электрического напряжения магнитный порядок двойного слоя CrI<sub>3</sub> может перестраивается из антиферромагнитного в ферромагнитное состояние и обратно (см. рис.), что эквивалентно воздействию магнитного поля в половину Тесла и магнитоэлектрическому эффекту на полтора порядка больше, чем в классическом магнитоэлектрике Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.





Переключение двойного слоя ван-дер-ваальсова магнита с помощью электрического поля [1]. Структура находится в магнитном поле смещения  $\sim 0.5$  Тесла.

Тут стоит сделать обычную в таких случаях оговорку: магнитоэлектрический эффект проявляется в  $\text{CrI}_3$  только при низких температурах. Впрочем, наука о 2D магнитах только начинает свое развитие, и она совсем необязательно будет вечно оставаться в рамках физики низких температур.

*А. Пятаков*

1. *B. Huang, et al., Nature* **546**, 270 (2017).

2. *Sh. Jiang et al., Nature Mater.*

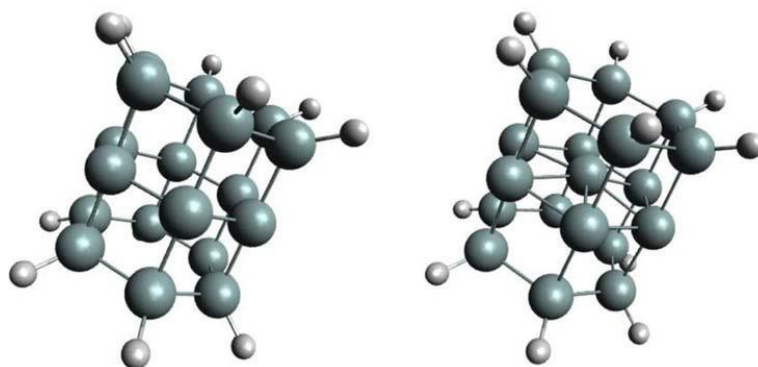
<https://doi.org/10.1038/s41563-018-0040-6>  
(2018).

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### *Кремниевые бакиболы против призматов*

На страницах предыдущего выпуска ПерсТа [1] мы уже рассказывали о термической устойчивости углеродных полипризматов, которые можно квалифицировать как углеродные нанотрубки с экстремально малым поперечным сечением в виде правильного многоугольника. Как оказалось, даже небольшие призматы не способны долго существовать при комнатной температуре, поэтому их применение в нанoeлектронике без использования хладагентов или дополнительной химической модификации достаточно затруднительно. В то же время некоторые их кремниевые аналоги, так называемые силапризматы, в том числе эндоэдральные (содержащие дополнительный атом внутри кремниевой клетки), ряд исследователей характеризуют как “ультрастабильные”, тем самым допуская их непосредственное участие во “втором рождении” кремниевой электроники в качестве базовых ее элементов и устройств. В работе [2] авторы представили результаты глобальной оптимизации кластеров  $\text{Si}_{18}\text{H}_{12}$  и

$\text{Si}_{19}\text{H}_{12}$  с целью понимания энергетического места силапризматов и соответствующих эндоэдральных комплексов (см. рис.), а именно их устойчивости, относительно других возможных изомеров.



Молекулярные структуры классического силапризмана  $\text{Si}_{18}\text{H}_{12}$  (слева) и эндоэдрального комплекса на его основе  $\text{Si}@Si_{18}\text{H}_{12}$  (справа).

Для глобальной оптимизации они применили генетический алгоритм в сочетании с теорией функционала плотности. Такая непростая задача потребовала одновременного использования сразу нескольких программных средств: ASE, DFTB+, GAMESS и TeraChem. В результате оказалось, что форма свободных молекулярных систем  $\text{Si}_{18}\text{H}_{12}$  и  $\text{Si}_{19}\text{H}_{12}$  в основном энергетическом состоянии напоминает скорее допированные водородом неклассические или дефектные фуллерены или бакиболы, а отнюдь не призматы. На следующем шаге исследователи предприняли попытку разобраться, каким образом пространственное ограничение (конфайнмент) цилиндрического типа способно повлиять на структуру низкоэнергетических изомеров  $\text{Si}_{18}\text{H}_{12}$  и  $\text{Si}_{19}\text{H}_{12}$ . Такая формулировка соответ-

стует ситуации, как если бы кремниевую структуру поместили, например, в классическую углеродную нанотрубку большего диаметра. К сожалению, и в этом случае силапризмы оказались не самыми низкоэнергетическими системами, хотя авторы отмечают, что их формирование под действием конфинмента становится более предпочтительным, чем в его отсутствие. Тем не менее, такой процесс как самосборка силапризм из силанов и молекулярного водорода при комнатной температуре, как предсказывали некоторые исследователи, не представляется возможным. В итоге однозначно говорить об абсолютной ультрастабильности силапризм не приходится. И хотя авторы дополнительно рассчитали оптические спектры, по которым теоретически можно отделить силапризмы от других изомеров, их

получение остается открытой проблемой. Бакиболы пока выигрывают.

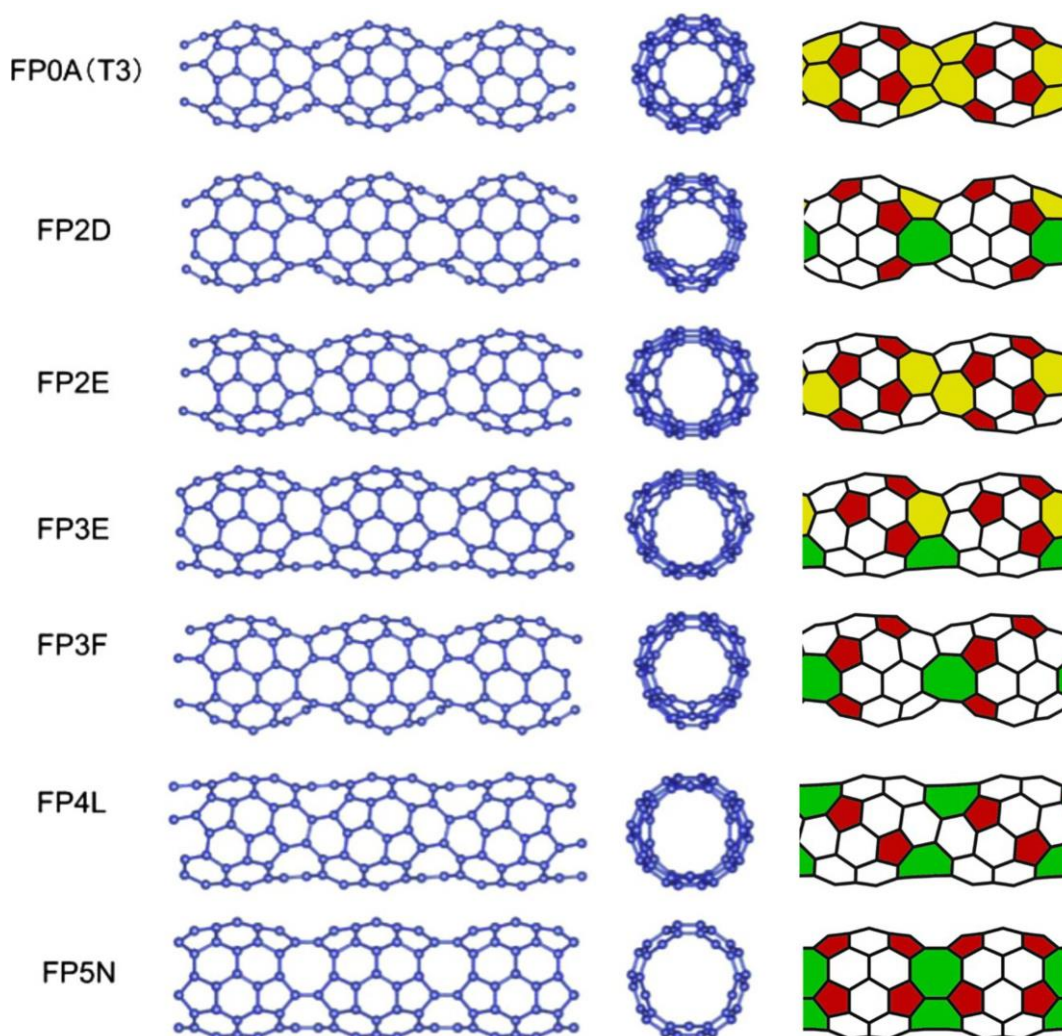
*М. Маслов*

1. [ПерсТ 25, вып. 3/4, с. 7 \(2018\).](#)

2. *M.V.Gordeychuk et al., Int. J. Quant. Chem., <https://doi.org/10.1002/qua.25609> (2018).*

### **Устойчивость одномерных фуллереновых полимеров**

Одномерные фуллереновые полимеры (FP) – это сравнительно новый тип углеродных аллотропов, впервые полученный с помощью облучения кристаллов  $C_{60}$  электронным пучком. Подобные системы можно рассматривать как особый вид углеродных нанотрубок переменного диаметра (см. рис.).



Устойчивые атомные структуры одномерных фуллереновых полимеров: вид сбоку (слева), вдоль основной оси полимера (в центре) и схематическое изображение области коалесценции соседних фуллеренов (справа, пятиугольники обозначены красным, шестиугольники – белым, семиугольники – желтым и восьмиугольники – зеленым цветами).

Основным механизмом их формирования исследователи называют серию трансформаций Стоуна-Уэльса между соседними молекулами  $C_{60}$ . Компьютерное моделирование с помощью теории функционала плотности предсказывает больше пятидесяти (точнее, пятьдесят четыре) различных типов одномерных фуллереновых полимеров [1], которые в зависимости от атомной геометрии области коалесценции содержат энергетическую щель в электронной зонной структуре или не имеют таковой, обладая, соответственно, полупроводниковыми или металлическими характеристиками. Однако фоновые спектры, указывающие на динамическую устойчивость этих систем, до настоящего времени подробно не исследовались. Авторы работы [2] постарались устранить этот пробел. С помощью классического потенциала Терзофа они переоптимизировали предсказанные ранее FP и выяснили, что лишь семь типов фуллереновых полимеров оказываются динамически стабильными, в то время как остальные содержат мнимые частоты в фоновом спектре и, следовательно, неустойчивы. Стабильными оказались структуры FP0A, FP2D, FP2E, FP3E, FP3F, FP4L и FP5N (см. рис.), где в обозначении FPnX  $n = 0 \div 6$  соответствует числу последовательных трансформаций Стоуна-Уэльса в области коалесценции исходного полимера FP0A, а символ X = A, B, C, ... вводится для дополнительной классификации – различения систем с одинаковыми  $n$  (подробнее см. работу [1]). Области коалесценции FP0A и FP5N состоят лишь из семи- и восьмичленных колец, соответственно, тогда как оставшиеся фуллереновые полимеры могут содержать также пяти- или шестичленные кольца (см. рис.).

Разобравшись с динамической устойчивостью, авторы рассчитали зависимость решеточной удельной теплоемкости на элементарную ячейку от температуры, предполагая электронный вклад пренебрежимо малым. Оказалось, что при высоких температурах, превышающих 2000 К, величина удельной теплоемкости стремится к  $180k_B$ , подчиняясь закону равномерного распределения, а при температурах ниже 10 К наблюдается корневая зависимость удельной теплоемкости от температуры. Авторы рассчитывают, что дальнейшие экспериментальные наблюдения должны подтвердить их прогнозы.

*М. Маслов*

*1. Y.Noda et al., J. Phys. Chem. A 119, 3048 (2015).*

*2. A.Shimizu et al., Chem. Phys. Lett. 694, 14 (2018).*

## КОНФЕРЕНЦИИ

**Научный семинар “Топологически нетривиальные материалы: двумерные и трёхмерные топологические изоляторы”, 4 апреля 2018 г., АО “НИИМЭ” (г. Москва, Зеленоград, 1-й Западный проезд, д. 12, строение 1, 4-й этаж, зал НТС, 11:00)**

Организаторами научного семинара являются: Отделение нанотехнологий и информационных технологий Российской академии наук, Научный совет РАН “Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания”, Консорциум “Перспективные материалы и элементная база информационных и вычислительных систем”.

Цель научного семинара – оценка текущего состояния, проблем и перспектив развития топологических изоляторов.

### Программа

- **Академик РАН Г.Я. Красников** (АО “НИИМЭ”) – открытие научного семинара
- **Докт. физ.-мат. наук О.Е. Терещенко** (ИФП СО РАН), **канд. геол.-минерал. наук К.А. Кох** (ИГМ СО РАН), **В.А. Голяшов** (ИФП СО РАН), **докт. физ.-мат. наук А.М. Шикин** (СПбГУ) “Электронная и спиновая структура топологических изоляторов и графеноподобных систем”
- **Докт. физ.-мат. наук В.А. Волков** (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН) “Поверхностные состояния дираковских и вейлевских фермионов”
- **Докт. физ.-мат. наук С.А. Тарасенко** (ФТИ им. А.В. Иоффе) “Двумерные и трехмерные топологические изоляторы на основе HgTe”
- **Докт. физ.-мат. наук Э.В. Девятов** (ИФТТ РАН) “Исследование топологических поверхностных состояний при помощи сверхпроводящих контактов”
- **Докт. физ.-мат. наук Д.Х. Квон** (ИФП СО РАН) “Топологические изоляторы на основе HgTe”
- **Канд. физ.-мат. наук С.И. Божко** (ИФТТ РАН) “СТМ/СТС поверхностных состояний топологических изоляторов”

- *Член-корр. РАН Д.Р. Хохлов (МГУ) “Фотогальванические эффекты в двумерных и трёхмерных топологических изоляторах”*

Для прохода на мероприятие при себе иметь паспорт.

Контактная информация:

ученый секретарь Научного совета:

Тельминов Олег Александрович  
тел. (495) 229-74-97, моб. (916) 693-08-14,  
факс (495) 229-70-94, эл. почта:

[otelminov@niime.ru](mailto:otelminov@niime.ru)

ученый секретарь Научного совета:

Харченко Людмила Юлиановна  
моб. (916) 566-34-76, эл. почта

[kharchenko2009@mail.ru](mailto:kharchenko2009@mail.ru)

***II-я Всероссийская научно-практическая конференция “Научное приборостроение – современное состояние и перспективы развития”, 4-7 июня 2018 г., г. Казань, Россия***

На конференции будут обсуждаться тенденции развития отечественного и зарубежного научного приборостроения, существующий научный задел институтов и производственно-технологическая база предприятий, вопросы взаимодействия институтов и предприятий приборостроительного комплекса ФАНО России для обеспечения собственных потребностей в оборудовании и приборах, а также реальные потребности внутреннего и внешнего рынков. В рамках конференции пройдет выставка приборов и оборудования.

**Секции:**

- Аналитическое и измерительное оборудование
- Специализированное и уникальное оборудование
- Технологическое оборудование
- Биологическое и медицинское оборудование
- Нефтехимическое оборудование
- Информационные технологии.

По программе Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере на конференции будет проводиться отбор работ “Участник молодежного научно-инновационного конкурса” (“У.М.Н.И.К.”) на 2019 год. Возраст участников конкурса от 18 до 30 лет (включительно).

**Ключевые даты:**

Срок предоставления заявок –

**30 марта 2018 г.**

Срок предоставления тезисов докладов –

**5 апреля 2018 г.**

Контактная информация:

Сорокина Анна Юрьевна, тел. (495) 547-13-01 (доб. 3065), эл. почта: [sorokina@fano.gov.ru](mailto:sorokina@fano.gov.ru)

Фаттахов Яхья Валиевич, тел. (843) 292-57-50, эл. почта: [fattakhov@kfti.knc.ru](mailto:fattakhov@kfti.knc.ru),

Сайт: <http://kfti.knc.ru/pribor2018/>.

Экспресс-бюллетень ПерсТ издается совместной информационной группой  
ИФТТ РАН и НИЦ «Курчатовский институт»

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: [ichugueva@yandex.ru](mailto:ichugueva@yandex.ru)

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, М.Маслов, А.Пятаков, З.Пятакова

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64<sup>а</sup>